

SISTEM TURAP UNTUK GALIAN DALAM PADA TANAH BERLAPIS

Akbar Saputra¹, I Made Aryatirta Predana², I Wayan Redana²

¹ Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali

² Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali

ABSTRAK

Sistem penahan tanah pada galian dalam di kawasan pusat kota perlu pendekatan yang tidak hanya memperhitungkan kekuatan struktur, namun juga keterbatasan akan ruang serta keamanan di lingkungan sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dari empat kondisi pemasangan sistem turap, yaitu turap kantilever, turap berangkur, dan turap berpenguat *strut*. Analisis dilakukan dengan pendekatan teoritis menggunakan teori tekanan lateral Rankine serta metode APD Peck, dengan terhadap kedalaman penetrasi, momen maksimum, serta kapasitas elemen struktural. Hasil studi menunjukkan bahwa turap berpenguat *strut* menjadi pilihan sistem turap paling optimal untuk diterapkan di lapangan, dengan kedalaman penetrasi 4.17 m dan momen maksimum 958.77 kNm/m. Sistem ini dipasang dua buah *strut* dengan jarak vertikal 2.8 m dan jarak horizontal 4.0 m. Evaluasi kapasitas struktural penahan tanah yang aman, berupa turap baja tipe U profil IVw, wales profil H 428x407x20x35, serta *strut* profil H 400x400x13x21. Studi lanjutan dengan melibatkan variasi jenis tanah dan pembebanan melalui pemodelan numerik metode elemen hingga (FEM) perlu dilakukan untuk memperoleh distribusi tekanan dan deformasi yang lebih detail dan akurat.

Kata Kunci: Turap, galian dalam, tanah berlapis

1. PENDAHULUAN

Kawasan urban memiliki pertumbuhan pembangunan infrastruktur yang pesat, hal ini akan membuat peningkatan kebutuhan akan pembangunan *basement*, fasilitas bawah tanah, dan konstruksi lainnya yang membutuhkan galian dalam. Kondisi ruang yang terbatas oleh bangunan dan utilitas eksisting di sekitarnya membuat penggunaan sistem penahan tanah yang efisien dan aman menjadi sangat penting. Salah satu sistem penahan tanah yang umum untuk galian dalam adalah turap, dinding ini berupa dinding menerus yang dibuat dengan menghubungkan potongan-potongan yang saling mengunci yang bertujuan untuk menahan tekanan horizontal akibat tanah dan air (Irwan dan Ilham, 2020). Turap memiliki kemudahan dalam pemasangannya dan mampu menahan tekanan yang memiliki beda elevasi yang tinggi (Yulianto, 2018). Turap bila ditopang oleh sistem penguat menjadi salah satu solusi yang dipilih karena fleksibilitas dan kemampuan untuk menahan gaya lateral tanah (Chowdhury, 2019; Zhang and Liu, 2022). Metode klasik seperti teori tekanan tanah lateral Rankine memberikan distribusi tekanan tanah yang linear dan cocok untuk analisis awal perencanaan turap. Akan tetapi, penelitian empiris menunjukkan bahwa teori tersebut sering menyimpang dari kondisi aktual, khususnya pada titik dukungan *strut* atau angkur. Hal ini disebabkan oleh lendutan dinding dan interaksi antara tanah dengan struktur, pendekatan empiris alternatif lainnya seperti APD Peck banyak digunakan untuk memperkirakan distribusi tekanan pada turap yang fleksibel dengan tambahan sistem penyangga dibandingkan teori tekanan tanah lateral Rankine (Liu, 2009; Chowdhury, 2019). Turap memiliki beberapa konfigurasi, seperti turap kantilever dan turap berangkur. Namun, adanya keterbatasan ruang dan risiko terhadap struktur di sekitarnya membuat turap berangkur menjadi sulit untuk diterapkan pada galian dalam di kawasan padat (Zhang and Liu, 2022). Beban tambahan akibat penggunaan alat berat akan meningkatkan tekanan tanah lateral dan mempercepat penurunan (*settlement*). Oleh karenanya, beban ini menjadi hal yang perlu untuk diperhatikan dalam desain turap agar deformasi dinding dan *settlement* dapat dikendalikan (Singh and Chatterjee, 2020). Pemilihan kedalaman penetrasi dan penampang yang tepat juga penting diperhatikan guna mengurangi pembengkakan biaya sekaligus untuk memenuhi aspek keamanan (Das and Das, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem turap dalam beberapa kondisi pemasangan (kantilever, berangkur, dan *strut*), menghitung kedalaman penetrasi dan momen maksimum yang bekerja, serta mengevaluasi kapasitas elemen struktur yang dipilih dalam perkuatan galian tanah terhadap beban kerja.

2. METODOLOGI

Metode Analisis

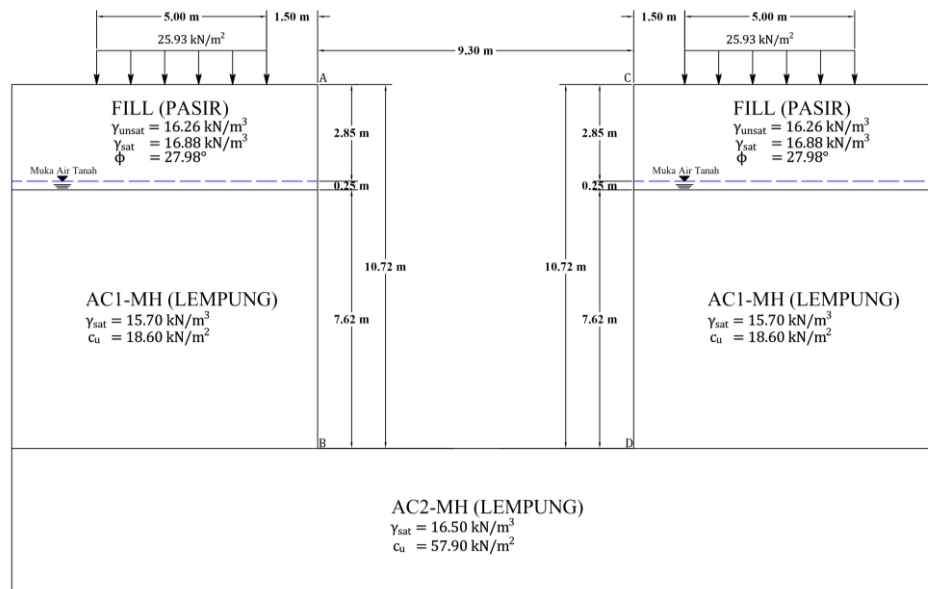
Studi ini menggunakan pendekatan teoritis dari dua teori tekanan tanah lateral yang umum digunakan dalam perencanaan sistem penahan tanah, yaitu teori tekanan tanah lateral Rankine, serta metode *apparent pressure diagram* (APD) Peck. Empat kondisi pemasangan turap dihitung dan dibandingkan tiga parameter, yaitu kedalaman penetrasi turap, besar momen maksimum yang bekerja, serta modulus penampang minimum.

Objek Penelitian

Galian tanah proyek stasiun kereta bawah tanah sedalam 10.72 m yang berada pada pusat kota menjadi objek penelitian, lebar dari galian sepanjang 9.30 m. Galian ini memiliki lapisan dan kondisi yang simetris terhadap dinding turap di kedua sisi galian. Sistem turap menahan beban tambahan (*surchage load*) sebesar 25.93 kN/m² yang bekerja di sisi kiri dan kanan galian. Beban ini merupakan beban kerja yang ditimbulkan dari penggunaan alat berat *hydraulic excavator* dalam proses penggalian. **Gambar 1** menampilkan skema konstruksi galian tanah yang diteliti.

Data Penelitian

Data penelitian berasal dari hasil kegiatan penyelidikan tanah di lapangan serta pengujian laboratorium, mencakup sifat fisik dan mekanik tanah pada lokasi galian. **Tabel 4** menyajikan data parameter tanah yang digunakan dalam analisis.



Gambar 1. Konstruksi galian tanah

Tabel 4. Parameter tanah

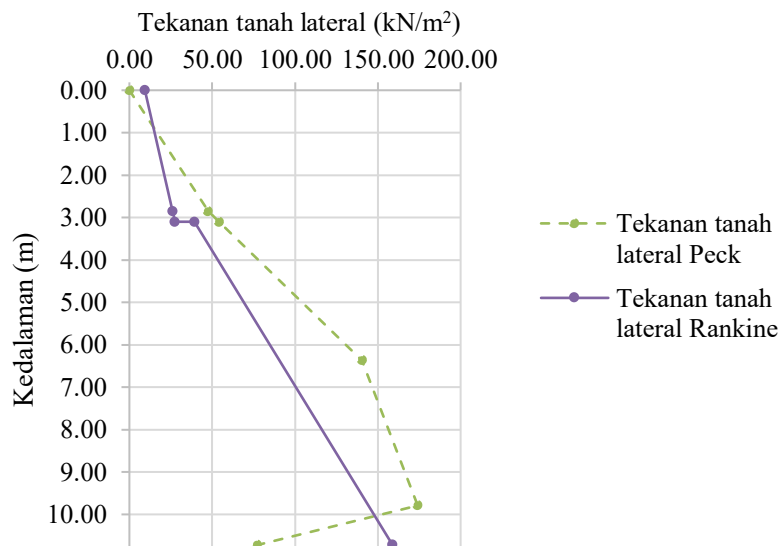
Elevasi m	Identifikasi	N ₆₀	q _u kN/m ²	γ _{unsat} kN/m ³	γ _{sat} kN/m ³	c kN/m ²	φ °
1.46	FILL	2.98	37.20	16.26	16.88	0.00	27.98
-9.29	AC1-MH	9.26	115.80	15.70	15.70	18.60	0.00
-16.79	AC2-MH	10.43	130.40	16.50	16.50	57.90	0.00
-24.89	DC1-CH	76.00	0.00	16.70	16.70	65.20	0.00
-37.79	DS1-SM	6.50	81.25	19.28	19.28	0.00	42.04
-41.99	DC2-CH	58.00	0.00	15.83	15.83	40.63	0.00
-50.24	DS2-SM	2.98	37.20	18.78	18.78	0.00	35.22

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekanan Tanah Lateral

Gambar 2 menampilkan kurva distribusi tekanan tanah lateral berdasarkan dua pendekatan teoritis, teori tekanan tanah lateral Rankine dan metode APD Peck. Terlihat bahwa terdapat perbedaan bentuk dan besaran tekanan tekanan antara keduanya. Teori tekanan tanah lateral Rankine menghasilkan distribusi tekanan linear yang meningkat seiring

bertambah kedalaman. Teori ini menganggap dinding penahan bersifat kaku dan berada dalam kondisi keruntuhan batas, tanpa mempertimbangkan deformasi dinding ataupun sistem penyangga. Sedangkan, metode APD Peck menunjukkan kurva non-linear yang merepresentasi kondisi aktual di lapangan. Metode ini memperhitungkan pengaruh pemasangan sistem penopang (*strut*) atau *tie-back*, sehingga distribusi tekanan lateralnya lebih realitis dalam kondisi galian dalam dengan dinding fleksibel. Penggunaan kedua pendekatan dimaksudkan untuk memberikan hasil analisis yang lebih representatif terhadap kondisi teknis masing-masing sistem turap. Sistem turap kantilever dan turap berangkur menggunakan teori tekanan tanah lateral Rankine, di sisi lain sistem turap berpenguat *strut* menggunakan metode APD Peck.



Gambar 2. Tekanan tanah lateral

Kedalaman Penetrasi dan Momen Maksimum

Tabel 5 menampilkan hasil analisis empat kondisi pemasangan turap, mencakup tiga parameter yang dibandingkan, yaitu kedalaman penetrasi, momen maksimum, serta modulus penampang.

Tabel 5. Hasil analisis empat kondisi turap

No.	Kondisi	Kedalaman Penetrasi	Momen Maksimum	Section Modulus Minimum (Mutu: SY390)
		m	kNm/m	cm ³ /m
1	Turap kantilever (<i>fixed earth support</i>)	27.17	7345.86	18835.54
2	Turap kantilever (<i>free earth support</i>)	25.40	9085.36	23295.79
3	Turap berangkur (<i>free earth support</i>)	7.40	669.49	1716.64
4	Turap berpenguat <i>strut</i>	4.17	958.77	2458.38

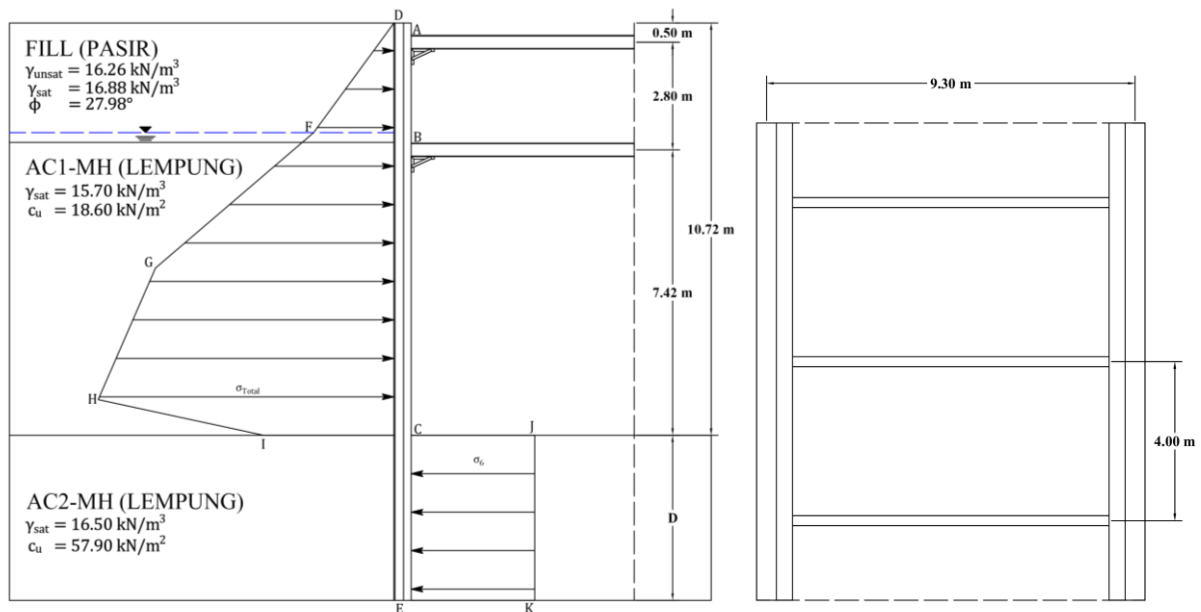
Sistem turap kantilever (*free earth support*) menghasilkan momen maksimum terbesar, yaitu sebesar 9085.36 kNm/m. Hal ini membuat kebutuhan penampang minimum untuk turap yang lebih besar, sebesar 23295.79 cm³/m. Di segi yang lain, turap berangkur memiliki kondisi yang paling baik, dilihat dari sisi momen lentur, nilai momen sebesar 669.49 kNm/m. Besar momen ini membuat kebutuhan penampang turap menjadi sangat kecil, sebesar 1716.64 cm³/m. Kedalaman penetrasi turap pada turap kantilever (baik *fixed earth support* maupun *free earth support*) memerlukan kedalaman yang paling dalam, lebih dalam dari 25 meter. Sedangkan, turap berangkur dan berpenguat *strut* hanya memerlukan kedalaman penetrasi kurang dari 8 meter, sehingga lebih ekonomis dari segi volume pengerjaan dan material turap.

Turap berangkur menunjukkan efisiensi dari sisi teknis, yaitu besar momen maksimum dan kedalaman penetrasinya. Namun sistem ini memiliki keterbatasan untuk penerapannya di lapangan. Lokasi proyek yang berada di kawasan padat perkotaan yang bersebelahan langsung dengan fondasi gedung pencakar langit, bangunan bersejarah, dan jaringan utilitas bawah tanah (air bersih, drainase, listrik, dan telekomunikasi) menjadikan metode pemasangan angkur kurang layak untuk diterapkan. Keterbatasan ruang dan risiko terhadap struktur di sekitarnya membuat turap berpenguat *strut* (*strutted wall*) menjadi solusi yang lebih aman dan memungkinkan secara teknis. Meskipun momen

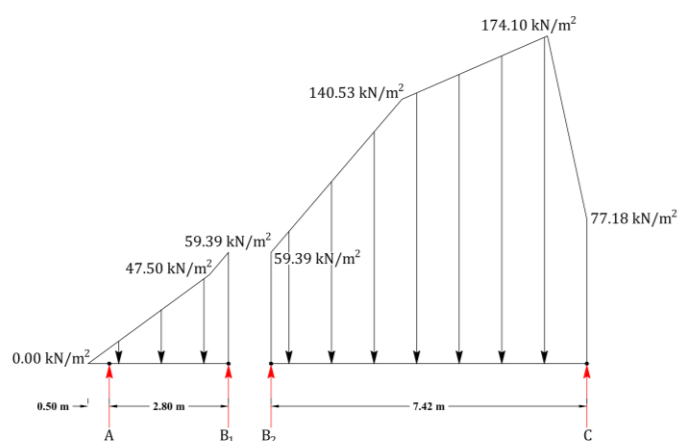
maksimum di sistem turap berpenguat *strut* lebih besar dibandingkan turap berangkur, sistem ini tetap lebih efisien dibandingkan turap kantilever, serta dapat diaplikasikan dengan minim risiko terhadap struktur di sekitarnya.

Beban Rencana *Strut*

Gambar 3 menampilkan skema pemasangan turap berpenguat *strut* pada galian tanah. Dua buah *strut* dipasang secara horizontal dan simetris di sepanjang lebar galian. Pemasangan *strut* dilakukan untuk menahan tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding turap, serta untuk membatasi deformasi lateral selama proses penggalian berlangsung. Pemasangan *strut* pertama diaplikasikan pada kedalaman -0.5 m dari muka tanah. Jarak vertikal antar *strut* 2.8 m, sehingga *strut* kedua dipasang pada kedalaman -3.3 m. Jarak horizontal (s) antar *strut* sebesar 4 m, yang merupakan jarak antar titik dukung struktural sepanjang dinding turap.



Gambar 3. Pemasangan strut A dan B



Error! Reference source not found.. **Beban Strut A dan B**

Error! Reference source not found. menampilkan distribusi tekanan tanah lateral pada turap berpenguat *strut*, gaya lateral tanah yang bekerja ditahan oleh dua elemen penyangga horizontal (*strut* A dan *strut* B) yang dipasang pada kedalaman tertentu. Tekanan lateral tanah yang didistribusi ke dinding turap, kemudian disalurkan ke elemen *wales* menghasilkan reaksi struktural yang ditahan oleh masing-masing *strut*.

Tabel 6 menampilkan hasil perhitungan analisis keseimbangan gaya terhadap luasan elemen turap yang ditahan oleh masing-masing *strut*, diperoleh besar reaksi vertikal serta beban rencana yang harus ditahan oleh tiap *strut*.

Tabel 6. Reaksi vertikal dan beban pada *strut*

<i>Strut</i>	Reaksi Vertikal	Beban Rencana
	kN/m	kN
A	35.4	134.51
B	486.67	1849.33

Beban rencana yang bekerja pada *strut* A sebesar 134.51 kN, nilai ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan *strut* B, dikarenakan *strut* A berada dekat muka tanah. Sedangkan, beban rencana yang bekerja pada *strut* B sebesar 1849.33 kN, nilai ini lebih besar dari *strut* A dan selaras dengan pola distribusi tekanan tanah lateral yang umumnya meningkat secara non-linear seiring bertambahnya kedalaman, seperti dilihat pada **Gambar 2**. Perbedaan beban yang signifikan antara kedua *strut* membuat desain elemen struktural harus memperhatikan kondisi lokasi pemasangan, serta dimensi penampang, jenis penampang, serta metode pemasangannya perlu dirancang dengan baik.

Kapasitas Sistem Turap

Evaluasi kapasitas struktur dilakukan untuk memastikan bahwa elemen-elemen sistem turap (turap, *wales*, dan *strut*) memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan gaya-gaya yang bekerja. Analisis dilakukan terhadap momen lentur maksimum serta gaya aksial maksimum yang bekerja tiap komponen, serta dibandingkan dengan kapasitas nominal berdasarkan properti penampang dan mutunya.

a. Kapasitas turap

Momen maksimum yang bekerja pada turap sebesar 958.77 kNm, terjadi pada bentang 7.42 m antara *strut* B dan dasar galian. Guna menahan momen tersebut, diasumsikan mutu baja SY390 ($f_y=390$ MPa). Berdasarkan perhitungan seperti dilihat pada **Tabel 7**, dibutuhkan modulus penampang minimum sebesar 2458.38 cm³. Oleh karenanya, digunakan profil turap tipe U profil IV_w dengan nilai modulus penampang sebesar 2700.00 cm³, yang lebih besar dibandingkan nilai minimum yang dibutuhkan. Hal ini menunjukkan turap mampu untuk menahan gaya yang bekerja.

Tabel 7. Kapasitas turap

Keterangan	Hasil
Tegangan izin, σ_{izin}	295.00 MPa
Momen maksimum, M_u	958.77 kNm
Section modulus minimum, S_{min}	2458.38 cm ³
Section modulus rencana, $S_{rencana}$	2700.00 cm ³

b. Kapasitas *wales*

Gaya aksial maksimum yang disalurkan ke *wales* sebesar 486.67 kN, terjadi pada *strut* B. Guna menahan momen tersebut diasumsikan mutu baja SS400 ($f_y=245$ MPa). Berdasarkan perhitungan seperti dilihat pada **Tabel 8**, dibutuhkan momen nominal lebih besar dari momen maksimum sebesar 1229.80 kNm. Untuk mengakomodasi gaya tersebut, digunakan profil H 428x407x20x35 dengan luas penampang seluas 360.60 cm². Berdasarkan perhitungan diperoleh kapasitas momen nominal yang tereduksi sebesar 1403.64 kNm, yang lebih besar dari momen maksimum yang terjadi. Hal ini menunjukkan *wales* mampu untuk menahan gaya yang bekerja.

Tabel 8. Kapasitas *wales*

Keterangan	Hasil
Tegangan izin, σ_{izin}	245.00 MPa
Aksial maksimum, P_u	486.67 kN
Momen maksimum, M_u	1229.80 kNm
Momen nominal tereduksi, ϕM_n	1403.64 kNm

c. Kapasitas *strut*

Gaya aksial maksimum yang bekerja pada *strut* sebesar 2589.06 kN, terjadi pada *strut* B. Guna menahan momen tersebut diasumsikan mutu baja SS400 ($f_y=245$ MPa). Berdasarkan perhitungan seperti dilihat pada

Tabel 9, dibutuhkan aksial nominal lebih besar dari aksial maksimum sebesar 2589.06 kN. Untuk mengakomodasi gaya tersebut, digunakan profil H 400x400x13x21 dengan luas penampang seluas 218.70 cm². Berdasarkan perhitungan diperoleh kapasitas aksial nominal yang tereduksi sebesar 3066.64 kN, yang lebih besar dari aksial maksimum yang terjadi. Hal ini menunjukkan *strut* mampu untuk menahan gaya yang bekerja.

Tabel 9. Kapasitas *strut*

Keterangan	Hasil
Tegangan izin, σ_{izin}	245.00 MPa
Tegangan kritis, F_{cr}	155.80 MPa
Aksial maksimum, P_u	2589.06 kN
Aksial nominal tereduksi, ϕP_n	3066.64 kN

4. KESIMPULAN

Turap berpenguat *strut* menjadi pilihan yang optimal untuk diterapkan di lapangan di antara empat kondisi yang diteliti. Sistem turap ini menghasilkan momen maksimum sebesar 958.77 kNm/m dengan kedalaman penetrasi hanya 4.17 m, sehingga efektif untuk diaplikasikan secara teknis, ekonomis, serta aman dari sisi intervensi terhadap lingkungan sekitar, mengingat lokasi proyek yang berada di kawasan padat perkotaan. Sistem turap berpenguat *strut* ini dipasang dua buah *strut* dengan jarak vertikal antar *strut* 2.8 m, dengan jarak horizontal antar *strut* 4.0 m. Kapasitas elemen struktur yang telah dianalisis dan dinyatakan aman, berupa profil turap tipe U profil IV_w, *wales* profil H 428x407x20x35, serta *strut* profil H 400x400x13x21.

Studi lanjutan dapat dilaksanakan melibatkan variasi jenis tanah dengan kondisi beban yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih aplikatif. Perangkat lunak elemen hingga (FEM) disarankan untuk digunakan guna memperoleh gambaran deformasi distribusi tegangan, aksial, momen lentur secara lebih rinci dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Chowdhury, S.S. (2019) "A study on lateral earth pressure against strutted retaining wall in cohesionless soil deposit," *International Journal of Geotechnical Engineering*, 13(2), pp. 122–138. Available at: <https://doi.org/10.1080/19386362.2017.1326683>.
- Das, M.R. and Das, S.K. (2015) "Optimal Design of Sheet Pile Wall Embedded in Clay," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 96(3), pp. 249–258. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40030-015-0128-9>.
- Irwan, A. and Ilham, D. (2020) "Analisis Stabilitas Lereng pada Perkuatan Sheet Pile Eksisting (Studi Kasus: Akses Jalan Bahumbelu – Morowali Sulawesi Tengah)," *Konferensi Nasional Teknik Sipil 14* [Preprint].
- Liu, F. (2009) "Lateral earth pressures on braced retaining wall."
- Singh, A.P. and Chatterjee, K. (2020) "Ground Settlement and Deflection Response of Cantilever Sheet Pile Wall Subjected to Surcharge Loading," *Indian Geotechnical Journal*, 50(4), pp. 540–549. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40098-019-00387-1>.
- Yulianto, F.E. (2018) "Analisa Stabilitas Turap (Sheet Pile) pada Lapisan Tanah Lunak (Studi Kasus Struktur Turap Tambak Lorok Semarang)," *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12* [Preprint].
- Zhang, W. and Liu, H. (2022) "Lateral Earth Pressure and Strut Forces," in W. Zhang and H. Liu (eds.) *Design of Deep Braced Excavation and Earth Retaining Systems Under Complex Built Environment: Theories and Case Studies*. Singapore: Springer Singapore, pp. 51–97. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-16-5320-9_3.